

СОВРЕМЕННЫЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ПЛАТФОРМЫ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ В МОНИТОРИНГЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

<https://doi.org/10.5281/zenodo.14942526>

М.Т. Юсупова

*преподаватель кафедры «Общепрофессиональные науки» Мамунского
университета*

yusupova_1816@mail.ru

Ш.Т. Атамуратова

Магистрант первого курса ТУИТ

Аннотация

Современные аэрокосмические платформы играют ключевую роль в дистанционном зондировании Земли (ДЗЗ) и мониторинге растительности. В данной статье рассматриваются основные принципы работы спутниковых систем, их технические характеристики, включая пространственное, спектральное, временное и радиометрическое разрешение. Также проведен обзор возможностей программного комплекса Landsat 8, который широко применяется в анализе растительного покрова. В заключении обсуждаются перспективы использования аэрокосмических платформ для экологического мониторинга и прогнозирования изменений в растительности.

Ключевые слова

аэрокосмические платформы, дистанционное зондирование Земли, спутниковый мониторинг, растительный покров, Landsat 8, спектральное разрешение.

В современном мире изучение поверхностного слоя земли (суши, реки, озера, пустыни и др.) при мониторинге и анализе, а также предсказания экологического состояния растительного покрова на основе ДЗЗ играет важную роль. В связи с этим, одним из ключевых источников дистанционной информации о поверхностных объектах Земли в настоящее время являются **аэрокосмические системы**. Исходя из этого исследование с помощью **аэрокосмических систем ДЗЗ** включает в себя, основные элементы:

1. Аэрокосмические аппараты;
2. Исследовательское оборудование дистанционного зондирования Земли;
3. Аппаратура регистрации и сохранения полученных изображений в базу данных;

4. Обмен информации с помощью телекоммуникационных оборудования;

5. Наземные базы обработки аэрокосмических изображений.

При дистанционном мониторинге Земли спутники выходят на орбиту на высоту более 100 км, а также их орбиты отличаются формой, углом наклона к плоскости экватора, периодом обращения вокруг Земли и различным положением относительно Солнца. Беспроводная сенсорная технология, установленная на борту спутника, регистрирует солнечное излучение, отражённое от земной поверхности, и преобразует его в электрический сигнал. Применяемые сигналы кодируются и по радиоканалам передаётся на наземный комплекс, где производится его дальнейшая обработка и хранение [1, 2].

Важным параметром, характеризующим любую систему дистанционного зондирования, является **разрешающая способность** сенсора (разрешение). Исходя из этого можно выделить следующие основные типы разрешения:

- **Спектральное разрешение** (определяется диапазонами длин волн электромагнитного спектра, к которым чувствителен сенсор).
- **Пространственное разрешение** (соответствует линейному размеру минимального элемента земной поверхности (пикселя), который может быть зафиксирован на изображении).
- **Яркостное радиометрическое разрешение** (отражает количество уровней квантования спектральной яркости и указывается числом бит).
- **Временное разрешение** (показывает, как часто спутник повторно снимает одну и ту же область поверхности Земли).

В целях более подробного рассмотрения типов, указанных выше, спектральное разрешение сенсора зависит от чувствительности к тем или иным диапазонам электромагнитного излучения. В зависимости от этого, регистрируемые изображения подразделяют на:

- **Панхроматические изображения** (полученные во всём видимом диапазоне).
- **Многозональные мультиспектральные изображения** (полученные в нескольких узких диапазонах электромагнитного спектра).
- **Гиперспектральные изображения** (полученные в очень большом числе каналов, обычно более 128).
- **Радиолокационные изображения** (в радиодиапазоне 1 мм – 1 м с различной поляризацией зондирующего сигнала) [3].

Различные спектральные диапазоны обеспечивают информацию о влажности, типе и состоянии растительности, объёме биомассы, степени

развития болезней и т.д., дают возможность одновременной регистрации нескольких спектральных каналов является важным преимуществом ДЗЗ при исследовании **растительного покрова**.

Пространственное разрешение показывает, какой линейный участок территории в метрах или километрах приходится на один пиксель спутникового изображения. Можно выделить следующие группы:

- **Низкое разрешение аэрокосмических изображений** (больших расстояний).
- **Среднее разрешение аэрокосмических изображений** (до одного километра).
- **Высокое разрешение аэрокосмических изображений** (до сотни метров).
- **Сверхвысокое разрешение аэрокосмических изображений** (близких и очень близких расстояний).

Радиометрическое разрешение характеризует количество возможных уровней градаций серого или цветовых тонов и указывается числом бит. Чем выше разрешение изображений, тем более тонкие градации яркости могут быть переданы. Большинство современных сенсоров имеют 8-битное радиометрическое разрешение (256 градаций).

Часто осуществления спутниковой съёмки одной и той же территории определяет временное разрешение. Для большинства аппаратов этот интервал составляет от нескольких дней до нескольких недель, хотя отдельные спутники способны выполнять повторную съёмку ежедневно или даже несколько раз в сутки. Высокое временное разрешение принципиально для задач мониторинга растительности, позволяя отслеживать динамику её состояния и изменения, вызванные погодными аномалиями или антропогенными факторами [4, 5].

В современном мире данные ДЗЗ в основном получают с помощью программы Landsat, с начала 1970-х годов стали появляться системы космического дистанционного зондирования, ориентированные не только на военные, но и на сугубо гражданские нужды (метеорология, экология, геологическое картографирование). **1972 год** принято считать отправной точкой массового применения данных ДЗЗ в мирных целях, поскольку именно тогда была запущена американская космическая программа **Landsat**. Данная программа остаётся одной из самых длительных и значимых программ спутникового мониторинга: за время её существования на орбиту успешно вывели 7 основных спутников (Landsat 1-5, Landsat 7, Landsat 8), а Landsat 9 запущен в 2021 году (не рассматривается в исходном тексте).

Первые три спутника Landsat (Landsat 1, 2, 3; первоначальное название для Landsat 1 – ERTS) были оснащены приборами **RBV (Return Beam Vidicon)** и четырёхканальным **MSS (Multispectral Scanner)**. Впоследствии на Landsat 4 и 5 стали устанавливаться инструменты **Thematic Mapper (TM)** с более высоким пространственным разрешением (30 м за исключением теплового канала). Landsat 5, функционировавший рекордные 28 лет, предоставил пользователям огромный массив многозональных данных и внёс существенный вклад в развитие технологий ДЗЗ.

Следующий важный этап – запуск Landsat 7 (15 апреля 1999 г.) с улучшенным прибором **Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)**, добавившим панхроматический канал разрешением 15 м. С октября 2008 г. Геологическая служба США (USGS) перевела Landsat 7 на открытый доступ к данным, что стимулировало интенсивное развитие систем автоматизированного анализа спутниковых снимков во всём мире [6].

Landsat 8, выведенный на орбиту 11 февраля 2013 г. и оснащённый сенсорами **Operational Land Imager (OLI)** и **Thermal Infrared Sensor (TIRS)**, предоставляет изображения в 8 видимых и ближних ИК-каналах с пространственным разрешением 30 м, а также в панхроматическом канале (15 м) и в 2 тепловых каналах (100 м). Характеристика его спектральных каналов дана в **Приложении Б**, а распределение каналов Landsat 8 по «окнам прозрачности» атмосферы показано на Рисунке 1.

Для изучения состояния растительного покрова Земли в данной диссертационной работе применяются спектральные каналы Landsat 8 (OLI/TIRS). Для получения специфической информации применяются следующие каналы:

- **I channel** (*Coastal/Aerosol*, 0.435–0.451 мкм): этот канал изучает мелководные участки, а также служит для обнаружения частиц пыли и дыма.
- **II channel** (*Blue*, 0.452–0.512 мкм): данный канал используется для обнаружения водных объектов и выявления состояния воды, разделения покрытых и непокрытых растительностью участков.
- **III channel** (*Green*, 0.533–0.590 мкм): преимущество этого канала в оценке жизнеспособности растительности, а также в сортировке типов растительных сообществ.
- **IV channel** (*Red*, 0.636–0.673 мкм): особый канал для изучения характеристики почвы, подходит для различения типов растительности и обладает чувствительностью к участкам поглощения хлорофилла.

• **V channel** (*NIR*, 0.851–0.879 мкм): данный канал показывает наибольшие результаты в анализе биомассы и влажности растений при помощи ближнего инфракрасного диапазона.

• **VI channel** (*SWIR-1*, 1.566–1.651 мкм) и **VII channel** (*SWIR-2*, 2.107–2.294 мкм): эти каналы проводят аналитику уровня влажности растительности и почвы, а также выявления минерализации.

• **VIII channel** (*Panchromatic*, 0.503–0.67 мкм): панхроматический канал, который обладает пространственным разрешением 15 м, суммирует часть видимого диапазона, а также даёт более высокое отношение сигнал к шуму.

• **IX channel** (*Cirrus*, 1.363–1.384 мкм): даёт возможность определять перистые облака (*cirrus*), также стоит учитывать, что поверхность Земли при этом в значительной степени поглощается атмосферой.

• **X и XI channel** (*Thermal*, 10.60–12.51 мкм): тепловые, предназначены для анализа температуры подстилающей поверхности, могут использоваться для обнаружения очагов пожаров, утечек тепла, загрязнений и других тепловых аномалий.

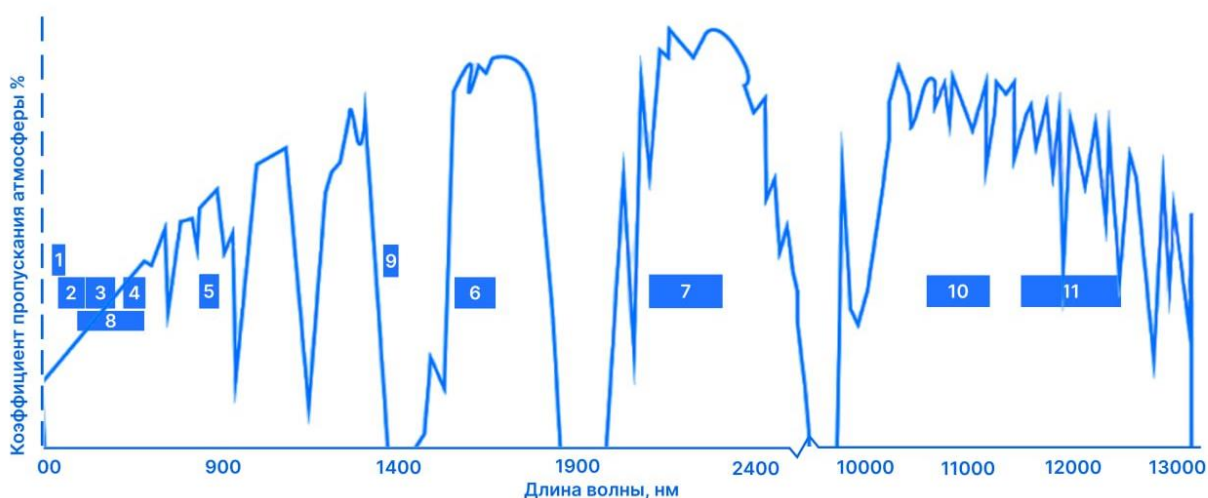


Рисунок 1 – Длины волн спектральных каналов спутника Landsat 8 и «окна прозрачности» атмосферы

В рамках настоящего исследования, направленного на разработку программного комплекса для определения состояния растительности, особое значение имели каналы Blue, Green, Red, NIR, SWIR-1 и SWIR-2. Эти диапазоны наиболее информативны при оценке объёма растительной биомассы, выявлении заболеваний и стрессовых факторов (засуха,

переувлажнение), а также при решении задач классификации и картографирования растительных сообществ [7, 8].

Современные космические системы ДЗЗ, в том числе серия Landsat, предоставляют широкие возможности для **оперативного и многократного наблюдения** за разнообразными объектами земной поверхности, в особенности за растительным покровом. Высокая спектральная, пространственная, радиометрическая и временная разрешающая способность данных создаёт основы для разработки эффективных алгоритмов и программных комплексов, способных автоматически интерпретировать состояние растительности, прогнозировать урожайность и выявлять аномальные явления природного или антропогенного происхождения.

Современные исследования принципы автоматизированной обработки изображений в области дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), в том числе задачи мониторинга и оценки состояния растительности, требуют передачи и обработки значительных объёмов геопространственных данных. Этот процесс обусловлен научно-техническим прогрессом, ростом объёма информации, необходимой для проведения научных исследований и обеспечения народного хозяйства и лесохозяйства. С развитием компьютерных технологий сформировались предпосылки для создания подходов **автоматизированного дешифрирования** природных объектов на космических изображениях. Базовой основой таких подходов является **дешифрирование мультиспектральных многозональных изображений**, опирающееся на анализ вектора яркостей в спектральных каналах. Автоматизированная обработка данных ДЗЗ представляет собой трудоёмкий, многоступенчатый процесс.

Поскольку дешифрирование носит целенаправленный характер, для разных тематических задач (включая задачи изучения растительности) применяются различные методы и технологии обработки данных ДЗЗ. Тем не менее, многие этапы обработки могут быть стандартизированы и автоматизированы с использованием определённых алгоритмов. На **самом первом этапе**, когда данные поступают на наземные пункты приёма, выполняются следующие операции:

1. Расшифровка радиосигналов.
2. Отделение служебной и полезной информации.
3. Разделение данных по сенсорам и каналам.
4. Формирование отдельных «сцен» для дальнейшей обработки.

Дальнейшие методы обработки информации, как правило, делят на две основные группы:

1. **Предварительная обработка аэрокосмических изображений.**

2. **Классификация объектов по аэрокосмическим изображениям.**

Современные аэрокосмические платформы предоставляют уникальные возможности для дистанционного мониторинга растительности, позволяя оценивать изменения растительного покрова, прогнозировать его состояние и выявлять экологические риски. Использование данных спутниковой съёмки, таких как изображения Landsat 8, значительно повышает точность и оперативность анализа окружающей среды. В будущем дальнейшее развитие технологий ДЗЗ, включая повышение разрешающей способности сенсоров, развитие искусственного интеллекта и машинного обучения для обработки изображений, будет способствовать более эффективному использованию аэрокосмических данных в мониторинге растительности и экосистем.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Лопатин Е.В. Методы дистанционного зондирования для оценки растительности. Москва: Наука, 2019.
2. Сеитназаров К. К. и др. ОБЗОР МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ВЫСОКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ // НАУКА и ОБЩЕСТВО. – С. 28.
3. К.К. Сеитназаров, Д.Х. Турдышов, Б.К. Туремуратова. ОБЗОР МЕТОДОВ ПОЛУЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ВЫСОКИМ РАЗРЕШЕНИЕМ // НАУКА и ОБЩЕСТВО
4. Kuenzer, C., Dech, S. "Remote Sensing Time Series – Revealing Land Surface Dynamics". Springer, 2016.
5. Ткаченко В.Н. Основы дистанционного зондирования Земли. Санкт-Петербург: Политехника, 2020.
6. Seitnazarov K., Turdishov D., Dosimbetov A. Knowledge base of algorithmic software complex for providing agricultural fields with water resources // AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2024. – Т. 3147. – №. 1.
7. Гектин Ю. М. и др. Температура и методы ее определения с помощью оптико-электронной аппаратуры космических систем ДЗЗ // Журнал Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. – 2024. – Т. 11. – №. 2. – С. 11-21.
8. Seitnazarov K. K., Aytanov A. K., Dosymbetov A. M. Strategy for Organization of Computational Experiments of the Functioning of Underground Water Inlets Using a Fuzzy Multiple Approach // 2020 International Conference on

Information Science and Communications Technologies (ICISCT). -
IEEE, 2020. - C. 1-6.